

# Estudio del impacto visual y propuesta de mejora mediante la implantación de arbolado urbano del parque eólico “La Plata”

S. Villacreces Arnedo <sup>1</sup>, J. C. de San Antonio Gómez <sup>2</sup>, F. Arredondo Ruiz <sup>1</sup>, R. Casas Flores<sup>3</sup>, A. Centeno Muñoz<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Construcción y vías rurales. ETSI Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid. Avda Complutense, s/n, Ciudad Universitaria, CP 28040, Madrid. e-mail: [s.villacreces@upm.es](mailto:s.villacreces@upm.es); [f.arredondo@alumnos.upm.es](mailto:f.arredondo@alumnos.upm.es)

<sup>2</sup> Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría. Expresión Gráfica. e-mail: [c.sanantonio@upm.es](mailto:c.sanantonio@upm.es)

<sup>3</sup> Máster Universitario en Jardinería y Paisajismo. Departamento de Producción Vegetal: Fitotecnia. [mjardineria.agronomos@upm.es](mailto:mjardineria.agronomos@upm.es)

## Resumen

En las últimas décadas, en el diseño de las ciudades se considera fundamental la presencia de áreas verdes. En este sentido, el arbolado urbano adquiere un importante protagonismo, contribuyendo a una mejora de la salud psicofísica del ciudadano, ya que conecta la urbe a la naturaleza. Además, tiene un papel fundamental en la mejora del bienestar ambiental de la ciudad, regulando la luz, la temperatura, la humedad, el viento, el ruido, la polución, etc., además de servir de pantalla visual. Por este motivo, el presente trabajo se centra en utilizar el arbolado urbano para disminuir el impacto visual que tiene el parque eólico “La Plata”, situado en el municipio de Villarrubia de Santiago (Toledo). En los últimos años, las energías renovables han pasado a jugar un papel fundamental en el abastecimiento energético mundial, debido al aumento de la demanda de energía y a la creciente problemática ambiental. Sin embargo, las energías renovables no están exentas de problemas medioambientales, y factores como la ocupación del territorio y el impacto visual hacen que su aceptación social disminuya. En el caso de la energía eólica, la disposición de los aerogeneradores queda condicionada por la intermitencia en la dirección e intensidad del viento, lo que complica la reducción del impacto visual de los parques eólicos y, por tanto, su aceptación social. Debido a la complejidad de los escenarios en los que se sitúan estas instalaciones, existe una gran diversidad de metodologías para optimizar su integración en el paisaje, pero no hay una metodología generalizada que considere que la población debe jugar un papel importante en su desarrollo. Para conocer y valorar el impacto visual que genera el parque eólico “La Plata”, se han aplicado tres metodologías: una basada en la valoración cualitativa de los escenarios de población, otra en el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la última a través de cuestionarios, comprobando así la equidad en los resultados de las tres metodologías. Aplicadas las tres metodologías y comparando los resultados, todas ellas coinciden en la valoración del impacto visual negativo en el paisaje del parque eólico “La Plata”, si bien la metodología que se apoya en el uso de cuestionarios incide directamente en la percepción de la población de este impacto, y discierne sus principales problemas. Para determinar la situación del arbolado propuesto se ha utilizado un SIG seleccionando las áreas prioritarias y así evaluar la reducción del impacto visual producido.

**Palabras clave:** energía eólica, impacto ambiental, opinión pública, integración paisajística.

## INTRODUCCION

### **Impacto visual de los parques eólicos**

La energía eólica está considerada como una de las fuentes de energías renovables más limpias y con menor impacto en el medio ambiente, en la naturaleza y en la vida del hombre (Katsaprakakis, 2012). En comparación con otras energías renovables, la energía eólica presenta muchas ventajas, entre otras, un menor precio en la producción de energía (Baños et al., 2010). Sin embargo, también muestra una serie de inconvenientes como son el ruido, el daño causado en aves, el sombreadamiento discontinuo de las turbinas, la ocupación de grandes superficies de terreno, la interferencia electromagnética que generan las turbinas y el fuerte impacto visual en el paisaje (Katsaprakakis, 2012), siendo esta última una de las causas que mejor explica cierta oposición por parte de la sociedad a su expansión (Woods, 2003; Wolsink, 2007). La reducción del impacto visual de los parques eólicos es una tarea compleja, ya que la disposición de los mismos se realiza en función de obtener mejor resultado en cuanto a la acción del viento (Baños et al., 2010; Möller, 2007). No obstante, hay numerosas metodologías para determinar el impacto visual que producen estas instalaciones y que pueden servir como herramienta para su integración en el paisaje: unas se basan en la valoración cualitativa de los escenarios de población y otras en el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) como herramienta para determinar dicho impacto (Molina-Ruiz et al., 2010; Hurtado et al., 2003; Van der Horst et al., 2009; Möller, 2005). Otras metodologías combinan las anteriores con cuestionarios a la población (Tsoutsos et al., 2008; Katsaprakakis, 2012), favoreciendo así la aceptación social y demostrando que la población debe jugar un papel importante en la implantación de estas instalaciones. Aún así estas metodologías son variadas en cuanto a lugares y autores, y debido a la diversidad de software, programas existentes en el mercado y a la diversa metodología de trabajo de cada grupo de investigación, no hay un método de evaluación generalizado para la integración de este tipo de instalaciones eléctricas (Baños et al., 2010).

### **Pantallas vegetales y arbolado urbano**

Una forma de integrar las construcciones en el entorno es crear pantallas vegetales que oculten total o parcialmente las edificaciones (Hernández, 2011), disminuyendo el impacto visual provocado. Según el estudio realizado por Martin et al. (2012) sobre integración paisajística en carreteras, en el que se usaban cuestionarios con fotografías de actuaciones en el paisaje con y sin pantallas vegetales, los encuestados valoraban mejor las fotografías donde se habían ocultado alteraciones en el paisaje mediante vegetación en carreteras. Sin embargo, su éxito queda condicionado por la calidad paisajística de la zona donde se proyecta la pantalla, las características del elemento a ocultar y la diversidad de especies vegetales que conforman la pantalla. Entre los antecedentes en el uso de pantallas vegetales para la reducción del impacto visual hay distintos ejemplos en la bibliografía científica de su uso en edificios (Perinin, 2013; Hernández et al., 2004), plantas solares, clúster de invernaderos (Rogge et al., 2008), zonas industriales (Martin et al., 2012), carreteras (Martin et al., 2012; Catalá-Reig y Fuster-Morera, 1998) y parques eólicos (Oteroa et al., 2012). Este último caso puede suponer un precedente para el presente estudio pero, sin embargo, en este caso, su peculiaridad radica en la implantación del arbolado para el apantallamiento vegetal en el interior y exterior de un municipio, con los consiguientes beneficios que supone la implantación de vegetación en el entorno urbano. El arbolado urbano conlleva una serie de ventajas para los residentes, como son la reducción de la contaminación por carbono,

mejora de la calidad del aire, atenuación de daños por lluvias torrenciales, conservación de la temperatura y reducción del ruido entre otros (Roy et al., 2012). El arbolado urbano además constituye un hábitat para la fauna urbana, y da diversos beneficios sociales, ecológicos, económicos, psicológicos y estéticos (Dwyer et al., 1992). Dichos beneficios se traducen de manera directa en la refrigeración de las calles y edificios por sombreado y disminución de la evapotranspiración, aumento de la temperatura invernal al reducir la velocidad del viento, y de manera indirecta, en la reducción del uso de aires acondicionados y calefacciones, y en la calidad del aire (Akbari et al., 2001). El arbolado urbano tiene además beneficios probados para la calidad de vida (Ellis et al., 2006) y la salud de los residentes, ayudándoles a lidiar con el estrés y la ansiedad (Wang et al., 2014).

## **MATERIAL Y MÉTODOS**

### **Área de actuación**

El presente trabajo se desarrolla en el parque eólico “La Plata”, situado en el municipio de Villarrubia de Santiago (Toledo). El municipio tiene una superficie total de 155 km<sup>2</sup> y está situado en la comarca de “la Mesa de Ocaña”, al norte de la provincia de Toledo. El parque eólico “La Plata” se localiza al norte del municipio y al sur del río Tajo, tiene una extensión de 5,7 km<sup>2</sup> y cuenta con un total de 33 aerogeneradores.

### **Evaluación del impacto visual**

Debido a la diversidad y complejidad de las metodologías existentes para evaluar el impacto visual de parques eólicos, en el presente trabajo se han utilizado tres metodologías distintas con el fin de comprobar la equidad en los resultados de las mismas:

- 1) Basada en la valoración cualitativa de los escenarios de población: Para la valoración del paisaje se ha utilizado el método descrito por Cañas (1995), consistente en la valoración de atributos asociados al paisaje por un observador *in situ* mediante fichas de valoración del paisaje. Para la evaluación se han tomado un total de 14 puntos en la zona Oeste y Este del parque, zona interior del municipio y zona interior del parque eólico, y se ha valorado el paisaje en esos puntos con y sin la presencia del parque eólico, tomando la diferencia como el impacto visual producido.
- 2) Basada en el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG): Para esta evaluación del impacto visual nos hemos basado en la metodología “Spanish method” (Hurtado et al., 2003) que se apoya en el uso de Sistemas de Información Geográfica para calcular el impacto visual de una instalación eólica, mediante el uso de la herramienta ArcGIS. Este método calcula el impacto visual producido en todo el municipio, y el método de valoración del paisaje en puntos concretos. Es por ello, que se ha decidido complementar ambos métodos para facilitar así la localización de las zonas con mayor impacto visual.
- 3) Basada en el uso de cuestionarios: Teniendo en cuenta la metodología descrita por Katsaprakakis (2012) y combinando dicha metodología con el empleo de fotografías (Tsoutsos et al., 2008) se ha elaborado un cuestionario para conocer el impacto visual que genera el parque eólico en los habitantes del municipio.

### **Diseño de la pantalla vegetal y arbolado urbano**

Con el objetivo de disminuir el impacto visual del parque eólico se ha decidido hacer plantaciones arbóreas alrededor del municipio y en algunas calles y plazas

céntricas del mismo, creando así una pantalla vegetal que permita reducir el impacto producido en la población y aumentar el arbolado urbano (Oteroa et al., 2012). Debido a las condiciones climáticas y pensando en la sostenibilidad y autonomía en cuanto a mantenimiento y riego de las especies vegetales a implantar, se ha realizado un estudio de especies autóctonas o adaptadas al área de estudio, que además se adecuen a la unidad del paisaje (Mérida-Rodríguez et al., 2010), y además se adapten mejor y más rápidamente al medio, necesitando un mantenimiento mínimo. Para la estimación de la modificación del impacto visual se ha usado el software ArcGIS 10.0, obteniendo mapas de visualización del parque eólico en el municipio.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Evaluación del impacto visual**

La valoración del impacto visual del parque eólico “La Plata” por cualquiera de las tres metodologías empleadas, arroja el impacto visual negativo que tiene el parque en el municipio. Para la metodología basada en la valoración del paisaje, en los 14 escenarios propuestos, la valoración del paisaje es en todos ellos mayor cuando no se tiene en cuenta el parque eólico, siendo esta diferencia superior en algunos escenarios que en otros. La aplicación del “Spanish method” nos da un impacto visual del parque eólico en el municipio leve, que puede ser fácilmente reducido por el uso de vegetación. Por último, en el método de evaluación mediante encuestas, participaron un total de 44 encuestados pertenecientes al municipio de Villarrubia de Santiago, y el resultado ha demostrado que el parque eólico merma la calidad visual del paisaje, pese a que la mayoría de los encuestados tiene una opinión positiva sobre la energía eólica en general, concibiéndola como una fuente de energía útil, renovable, no contaminante, y un referente en la producción energética para el presente y el futuro. Estos resultados pueden ser comparados con los de la bibliografía existente. Molnarova et al., (2012), mantiene que la puntuación del paisaje por los encuestados es más baja en paisajes con aerogeneradores que en el mismo paisaje sin los mismos, considerando los aerogeneradores como un elemento que deteriora significativamente el paisaje. Además Katsaprakakis (2012) mantiene que pese al efecto positivo que tiene en los encuestados la energía eólica, a la mayoría les preocupa sus impactos en el medio ambiente, entre ellos, el impacto visual.

### **Diseño de la pantalla vegetal y arbolado urbano**

Para la pantalla vegetal se ha seleccionado el pino carrasco (*Pinus halepensis* L.) teniendo en cuenta su adaptación al terreno, velocidad de crecimiento y forma de la copa. Con el modelo digital del municipio y el parque eólico, y mediante el programa ArcGIS, se han obtenido las zonas de visibilidad del parque eólico en el interior del municipio (Imagen 1), obteniendo así las zonas adecuadas donde poner los árboles. Teniendo en cuenta las zonas prioritarias de actuación con el mapa de visibilidad del parque eólico, se ha diseñado una pantalla vegetal en tresbolillo y con una densidad de plantación mayor cerca del pueblo, disminuyendo hacia el parque eólico (Imagen 2). Además se han colocado varios ejemplares arbóreos en el interior del municipio para reducir la visibilidad en puntos clave. Una vez realizado el diseño de la pantalla vegetal, se procede a realizar un análisis de visibilidad con el software ArcGIS, para comprobar la repercusión en el impacto visual (Imagen 2).



Imagen 1. Análisis de visibilidad del parque eólico e

Imagen 2. Análisis de visibilidad del parque eólico con la pantalla vegetal.



Imagen 3. Montaje fotográfico de la instalación de la pantalla vegetal.

Como en el estudio realizado por Oteroa et al., (2012) tomando como referencia el parque eólico y determinados puntos de observación (en este caso dentro del municipio de Villarrubia de Santiago) se puede localizar el área prioritaria donde colocar la pantalla vegetal, disminuyendo así el impacto visual producido por el parque eólico (Imagen 3). Además el uso de arbolado urbano se cree que aportará numerosos beneficios para los habitantes del municipio como así lo refleja la bibliografía revisada (Roy et al., 2012; Dwyer et al., 1992; Akbari et al., 2001; Ellis et al., 2006; Wang et al., 2014).

## CONCLUSIONES

Aplicadas las tres metodologías y comparando resultados, queda claro que el parque de “La Plata” causa un impacto negativo en la población de Villarrubia de Santiago y en los alrededores, haciendo que la calidad del paisaje disminuya desde el municipio y la periferia. Además, las encuestas reflejan la valoración negativa del parque eólico, pero la valoración positiva a la energía eólica en general, lo que supone que el problema del impacto visual afecta a la opinión del público, y que esta debe valorarse a la hora de realizar este tipo de instalaciones. Como problema al impacto visual y aportando los beneficios que ello conlleva, el presente trabajo ha optado por la implantación de arbolado urbano, el cual ha disminuido el impacto visual del parque eólico en el municipio de manera considerable, aportando además beneficios en la calidad de vida de los habitantes del mismo.

## Referencias

Akbari, H., Pomerantz, M., Taha, H. (2001). Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. *Solar Energy*, 70 (3), 295–310.

- Baños, R., Manzano-Agugliaro, F., Montoya, F.G., Gil, C., Alcayde, A., Gómez, J. 2010. Optimization methods applied to renewable and sustainable energy: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 1753-1766.
- Cañas I. (1995). Valoración del paisaje. Lugo. Unicopia. 712 pp.
- Catalá-Reig, R., Fuster-Morera, A. (1998). Autovía de Aragón. Tramo: Sagunto-Soneja. *Revista de Obras públicas*, 3379.
- Dwyer, J., McPherson, E., Schroeder, H., Rowntree, R. 1992. Assessing the benefits and costs of the urban forest. *Journal of Arboriculture*, 18, 227–234.
- Ellis, C.D., Lee, S., Kweon, B. (2006). Retail land use, neighborhood satisfaction and the urban forest: an investigation into the moderating and mediating effects of trees and shrubs. *Landscape and Urban Planning*, 74, 70–78.
- Hernández, J., García, L., Ayuga, F. (2004). Assessment of the visual impact made on the landscape by new buildings: a methodology for site selection. *Landscape and Urban Planning*, 68, 15–28.
- Hernández, J. (2011). Proyecto Piloto “Trenzando Diversidad”. Aplicación de pantallas de vegetación autóctona para la mitigación del impacto paisajístico: metodología, selección de especies y casos prácticos.
- Hurtado, J.P., Fernández, J., Parrondo, J.L., Blanco, E. (2003). Spanish method of visual impact evaluation in wind farms. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 8, 483-491.
- Katsaprakakis, D.A. (2012). A review of the environmental and human impacts from wind parks. A case study for the Prefecture of Lasithi, Crete. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 16, 2850-2863.
- Martin, B., Loro, M., Arce, R.M., Otero, I. (2012). Different landscaping integration techniques in roads. Analysis of efficacy through public perception. *Informes de la Construcción*, 64(526), 207-220.
- Mérida-Rodríguez, M., Lobón-Martín, R., Perles-Roselló, M.J. (2010). Las plantas fotovoltaicas en el paisaje. Tipificación de impactos y directrices de integración paisajística. *Revista de climatología, meteorología y paisaje*, 25-26, 129-154.
- Molina-Ruiz, J., Martínez-Sánchez, M.J., Pérez-Sirvent, C., Tudela-Serrano, M.L., García Lorenzo, M.L.(2010). Developing and applying a GIS-assisted approach to evaluate visual impact in wind farms. *Renewable Energy*, 36, 1125-1132.
- Molnarova, K., Sklenicka, P., Stiborek, J., Svobodova, K., Salek, M., Bradec, E. (2011). Visual preferences for wind turbines: Location, numbers and respondent characteristics. *Applied Energy*, 92, 269-278.
- Möller, B. (2005). Changing wind-power landscapes: regional assessment of visual impact on land use and population in Northern Jutland, Denmark. *Applied Energy*, 83, 477-494.
- Möller, B. (2007). Could landscape intervisibility be a suitable criterion for location of wind turbines? 10th AGILE International Conference on Geographic Information Science. Aalborg University, Denmark.
- Oteroa, C., Manchadoa, C., Ariasa, R., Bruschia, V.M., Gómez-Jáureguia, V. (2012). Wind energy development in Cantabria, Spain. Methodological approach, environmental, technological and social issues. *Renewable Energy*, 40, 137-149.
- Perinin, K. (2013). Retrofitting with vegetation recent building heritage applying a design tool—the case study of a school building. *Frontiers of Architectural Research*, 2, 267–277.
- Rogge, E., Nevens, F., Gulinck, H. (2008). Reducing the visual impact of ‘greenhouse parks’ in rural landscapes. *Landscape and Urban Planning*, 87, 76–83

- Roy, S., Byrne, J., Pickering, C. (2012). A systematic quantitative review of urban tree benefits, costs, and assessment methods across cities in different climatic zones. *Urban Forestry & Urban Greening*, 11, 351– 363.
- Tsoutsos, T., Tsouchlaraki, A., Tsiropoulos, M., Serpetsidakis, M. (2008). Visual impact evaluation of a wind park in a Greek island. *Applied Energy*, 86, 546-553.
- Van der Horst, D., Toke, D. (2009). Exploring the landscape of wind farm developments; local area characteristics and planning process outcomes in rural England. *Land Use Policy*, 27, 214-221.
- Wolsink, M. (2007). Planning for renewable schemes: deliberative and fair decision making on landscape issues instead of reproachful accusations of noncooperation. *Energy Policy*, 35, 2692–2704.
- Wang, Y., Bakker, F., de Groot, R., Wörtche, H. (2014). Effect of ecosystem services provided by urban green infrastructure on indoor environment: A literature review. *Building and Environment*, 77, 88-100.
- Woods, M. (2003). Conflicting environmental visions of the rural: wind farm development in Mid Wales. *Sociologia Ruralis*, 43, 271–288.